

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/051028

International filing date: 08 March 2005 (08.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

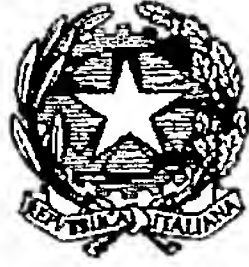
Document details: Country/Office: IT  
Number: MI2004A 000442  
Filing date: 08 March 2004 (08.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 31 May 2005 (31.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse



# Ministero delle Attività Produttive

*Direzione Generale per lo Sviluppo Produttivo e la Competitività*

*Ufficio Italiano Brevetti e Marchi*

*Ufficio G2*



**Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per:  
INVENZIONE INDUSTRIALE N. MI 2004 A 000442**

EPO - DG 1

17. 05. 2005

(51)

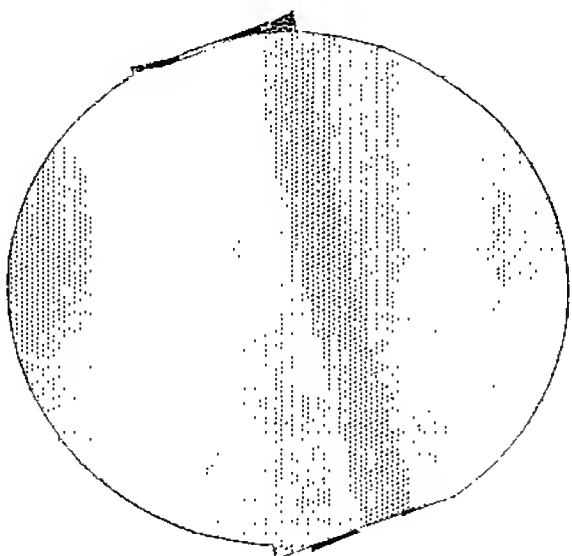
Si dichiara che l'unita copia è conforme ai documenti originali  
depositati con la domanda di brevetto sopra specificata, i cui dati  
risultano dall'accluso processo verbale di deposito.



Roma, li..... **4 APR. 2005**

IL FUNZIONARIO

*Paolo Piana*  
.....  
*Paolo Piana*



## MODULO A (1/2)

AL MINISTERO DELL'INDUSTRIA DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO  
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI (U.I.B.M.)

MI 2004 A 0 0 0 4 4 2

DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE N°




## A. RICHIEDENTE/I

COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	A1	MARCONI COMMUNICATIONS S.P.A.			
NATURA GIURIDICA (PF/PG)	A2	PG	COD. FISCALE PARTITA IVA	A3	01168770996
INDIRIZZO COMPLETO	A4	GENOVA			
COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	A1				
NATURA GIURIDICA (PF/PG)	A2		COD. FISCALE PARTITA IVA	A3	
INDIRIZZO COMPLETO	A4				
B. RECAPITO OBBLIGATORIO IN MANCANZA DI MANDATARIO	B0	(D = DOMICILIO ELETTIVO, R = RAPPRESENTANTE)			
COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	B1				
INDIRIZZO	B2				
CAP/LOCALITÀ/PROVINCIA	B3				
C. TITOLO	C1	"DISPOSITIVO E METODO PER LA CONVERSIONE DEL FORMATO DI MODULAZIONE DI UN SEGNALE OTTICO E RICEVITORE CON ESSI"			

## D. INVENTORE/I DESIGNATO/I (DA INDICARE ANCHE SE L'INVENTORE COINCIDE CON IL RICHIEDENTE)

COGNOME E NOME	D1	D'ERRICO ANTONIO
NAZIONALITÀ	D2	ITALIANA
COGNOME E NOME	D1	CIARAMELLA ERNESTO
NAZIONALITÀ	D2	ITALIANA
COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITÀ	D2	
COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITÀ	D2	




SEZIONE	CLASSE	SOTTOCLASSE	GRUPPO	SOTTOGRUPPO	
E. CLASSE PROPOSTA	E1	E2	E3	E4	E5

## F. PRIORITA'

DERIVANTE DA PRECEDENTE DEPOSITO ESEGUITO ALL'ESTERO

STATO O ORGANIZZAZIONE	F1		TIPO	F2	
NUMERO DI DOMANDA	F3		DATA DEPOSITO	F4	
STATO O ORGANIZZAZIONE	F1		TIPO	F2	
NUMERO DI DOMANDA	F3		DATA DEPOSITO	F4	
G. CENTRO ABILITATO DI RACCOLTA COLTURE DI MICROORGANISMI	G1				
FIRMA DEL/DEI RICHIEDENTE/I	P.I. INGG. GUZZI & RAVIZZA - DR. ING. VITTORIO FARAGGIANA PER SÉ E PER GLI ALTRI				



## MODULO A (2/2)

## I. MANDATARIO DEL RICHIEDENTE PRESSO L'UIBM

LA/E SOTTOINDICATA/E PERSONA/E HA/HANNO ASSUNTO IL MANDATO A RAPPRESENTARE IL TITOLARE DELLA PRESENTE DOMANDA INNANZI ALL'UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI CON L'INCARICO DI EFFETTUARE TUTTI GLI ATTI AD ESSA CONNESSI (DPR 20.10.1998 N. 403).

NUMERO ISCRIZIONE ALBO COGNOME E NOME;	<b>I1</b>	169 VITTORIO FARAGGIANA ED ALTRI
DENOMINAZIONE STUDIO	<b>I2</b>	INGG. GUZZI & RAVIZZA SRL
INDIRIZZO	<b>I3</b>	VIA VINCENZO MONTI, 8
CAP/LOCALITÀ/PROVINCIA	<b>I4</b>	20123 MILANO
L. ANNOTAZIONI SPECIALI	<b>L1</b>	

## M. DOCUMENTAZIONE ALLEGATA O CON RISERVA DI PRESENTAZIONE

Tipo Documento	N. ES. ALL.	N. ES. RIS.	N. PAG. PER ESEMPLARE
PROSPETTO A, DESCRIZ., RIVENDICAZ. (OBBLIGATORI 2 ESEMPLARI)	2		16
DISEGNI (OBBLIGATORI SE CITATI IN DESCRIZIONE, 2 ESEMPLARI)	2		4
DESIGNAZIONE D'INVENTORE			
DOCUMENTI DI PRIORITÀ CON TRADUZIONE IN ITALIANO			
AUTORIZZAZIONE O ATTO DI CESSIONE			

(SI/NO)

LETTERA D'INCARICO

NO

PROCURA GENERALE

RIFERIMENTO A PROCURA GENERALE

(EURO)

IMPORTO VERSATO ESPRESSO IN LETTERE

ATTESTATI DI VERSAMENTO

188,51

CENTOTTANTOTTO/51

FOGLIO AGGIUNTIVO PER I SEGUENTI  
PARAGRAFI (BARRARE I PRESCELTI)  
DEL PRESENTE ATTO SI CHIEDE COPIA  
AUTENTICA? (SI/NO)

A

D

F

SI

SI CONCEDE ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL  
PUBBLICO? (SI/NO)

NO

DATA DI COMPILAZIONE

08.03.2004

FIRMA DEL/DEI

RICHIEDENTE/I

P.I. INGG. GUZZI &amp; RAVIZZA / DR. ING. VITTORIO FARAGGIANA PER SÉ E PER GLI ALTRI

## VERBALE DI DEPOSITO

NUMERO DI DOMANDA MI 2004 A 0 0 0 4 4 2

C.C.I.A.A. DI MILANO

COD. 15

IN DATA 08 MAR. 2004

, IL/I RICHIEDENTE/I SOPRAINDICATO/I HA/HANNO PRESENTATO A ME

LA PRESENTE DOMANDA CORREDATA DI N.

☒

FOGLI AGGIUNTIVI PER LA CONCESSIONE DEL BREVETTO SOPRARIPORTATO.

N. ANNOTAZIONI VARIE  
DELL'UFFICIALE ROGANTE

IL DEPOSITANTE

Silvano Allouis



L'UFFICIALE ROGANTE

CORTONE MAURIZIO



**PROSPETTO MODULO A**  
**DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE**  
**MI 2004 A 0 0 0 4 4 2**

<b>NUMERO DI DOMANDA:</b>	<b>DATA DI DEPOSITO:</b>	<b>08 MAR. 2004</b>
---------------------------	--------------------------	---------------------

**A. RICHIEDENTE/I** COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE, RESIDENZA O STATO

Marconi Communications S.p.A.  
Genova

**C. TITOLO**

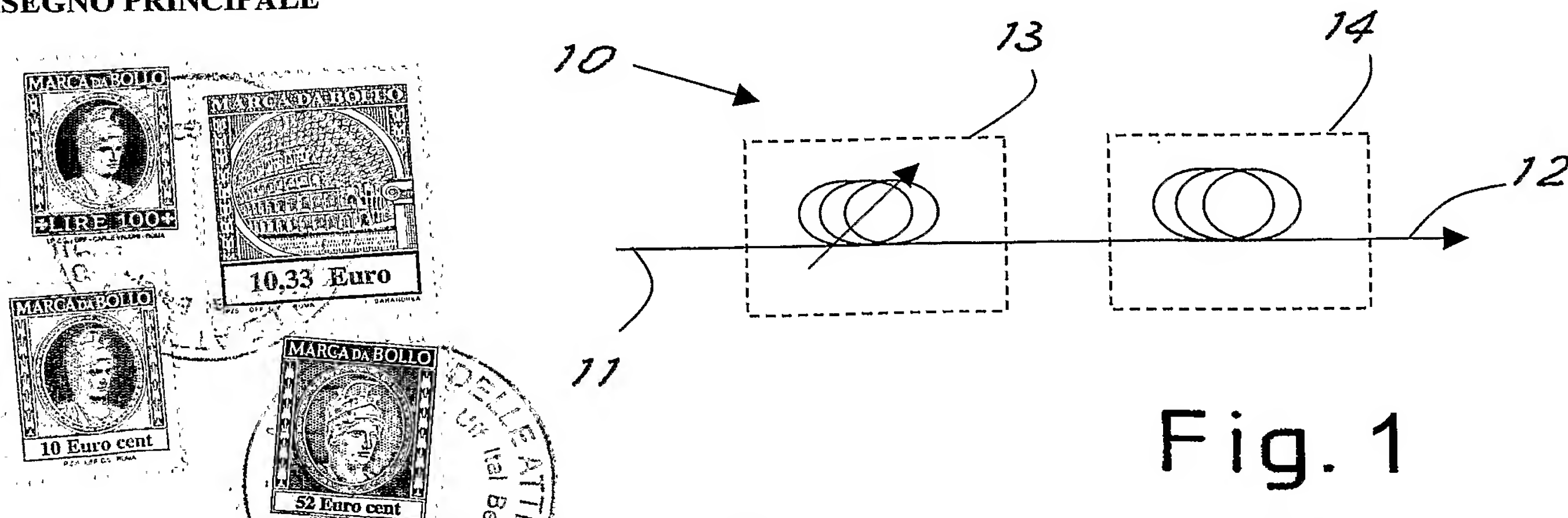
“DISPOSITIVO E METODO PER LA CONVERSIONE DEL FORMATO DI MODULAZIONE DI UN SEGNALE OTTICO E RICEVITORE CON ESSI”

**E. CLASSE PROPOSTA**

**O. RIASSUNTO**

Uno schema basato su un controllore di polarizzazione e un mezzo birifrangente con adeguatamente selezionate proprietà ottiche (per esempio, ritardo di gruppo differenziale) è proposto allo scopo di ottenere una conversione di formato di modulazione: lo schema può essere usato per convertire da DPSK ottico direttamente a POLSK; da DPSK a IM (attraverso una conversione intermedia a POLSK) sia IM-RZ sia IM-NRZ; da POLSK a IMDD; da IM a POLSK. Poiché il DPSK è molto simile al PSK, a meno della codifica differenziale iniziale, conversioni simili a quelle per il DPSK possono essere ottenute per il PSK. Anche i segnali modulati MSK possono essere convertiti. Grazie alla conversione in un segnale modulato in intensità è possibile realizzare con facilità un ricevitore di segnali.

**P. DISEGNO PRINCIPALE**



**Fig. 1**

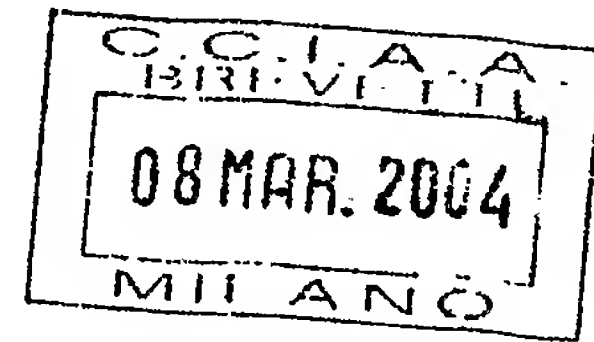
FIRMA DEL/DEI  
RICHIEDENTE/I

P.I. ING. GUZZI & RAVIZZA – DR. ING. VITTORIO FARAGGIANA PER SÉ E PER GLI ALTRI

"Dispositivo e metodo per la conversione del formato di modulazione di un segnale ottico e ricevitore con essi"

titolare: Marconi Communications S.p.A.

con sede in: Genova



\*\*\*\*\*

**MI 2004 A 0 0 0 4 4 2**

La presente invenzione si riferisce un dispositivo e ad un metodo per eseguire la conversione del formato di modulazione di un segnale ottico. L'invenzione si riferisce anche ad un ricevitore impiegante tale convertitore e tale metodo.

Negli attuali sistemi di trasmissione ottica, è usata la modulazione di intensità (IM), principalmente con il formato "senza ritorno a zero" o "Non Return to Zero (NRZ), ma a volte anche con il formato "con ritorno a zero" o "Return to Zero (RZ).

La scelta della modulazione di intensità è dovuta principalmente alla semplicità del corrispondente ricevitore ottico, che è basato su un fotorivelatore, ad esempio un fotodiodo. Per particolari applicazioni (in genere per i prossimi sistemi a 40Gbit/s) è anche stato proposto l'uso di altri formati, in particolare per avere una più alta robustezza agli effetti di propagazione non lineare e anche per una maggiore tolleranza alla PMD e CD. Queste caratteristiche possono aprire la strada a un nuovo disegno di sistemi di trasmissione (ad esempio, con potenze di trasmissione più elevate e con tratte più lunghe prive di ripetitori).

Sebbene questi formati di modulazione alternativi siano tipicamente presi da precisi lavori nella teoria delle comunicazioni, ci sono spesso difficoltà a trasportarli direttamente nelle comunicazioni ottiche reali.

Un esempio tipico di tali formati di modulazione alternativi è il "Differential Phase Shift Keying" (DPSK), nel quale la fase ottica del segnale è digitalmente modulata (per mezzo di una sequenza di codifica differenziale). In questo caso, sebbene il mo-

dulatore possa essere semplicemente ottenuto per mezzo della conosciuta tecnologia  $\text{LiNbO}_3$ , il ricevitore è abbastanza difficile da realizzare, poiché un segnale ottico modulato in fase non può essere direttamente rilevato.

In tecnica nota sono state proposte due soluzioni principali per rilevare un segnale ottico modulato DPSK. La prima soluzione è basata sul ben conosciuto schema direttamente preso dalle comunicazioni coerenti, il quale richiede tuttavia un oscillatore locale (un laser in questo caso) che deve accordarsi sia con lo stato di polarizzazione (SOP) sia con la frequenza di portante del segnale. Queste caratteristiche rendono il disegno del ricevitore complesso e costoso. È stato proposto perciò un secondo schema, che è basato su un interferometro a ritardo. L'interferometro (tipicamente un interferometro Mach Zehnder) è un componente ottico che può essere usato per convertire il segnale DPSK in un segnale IM, che è quindi ricevuto per mezzo di un tradizionale ricevitore IM.

Tuttavia, le strutture interferometriche sono difficili da maneggiare (esse possono soffrire in modo critico delle fluttuazioni ambientali) e sono strettamente dipendenti dalla stabilità delle regolazioni. Inoltre, esse non sono ancora commercialmente disponibili, poiché sono conosciuti solo prototipi di ricerca.

Scopo generale della presente invenzione è ovviare agli inconvenienti sopra menzionati fornendo un metodo e un dispositivo che possano essere impiegati per convertire facilmente un formato di modulazione di un segnale ottico in un altro formato. Ciò permette ad esempio di ricevere un segnale ottico modulato DPSK, convertendo il segnale ottico DPSK in un segnale IM (RZ o NRZ) pronto per la rilevazione elettro-ottica. Il tutto con il vantaggio di potere impiegare componenti noti e a basso costo.

In vista di tale scopo si è pensato di realizzare, secondo l'invenzione, un convertitore ottico del formato di modulazione di un segnale ottico caratterizzato dal fatto di

comprendere almeno un primo stadio di conversione formato da un mezzo birifrangente con selezionato ritardo di gruppo differenziale (DGD) fra i suoi due principali assi di simmetria, attraverso il quale il segnale ottico è fatto passare per scomporlo in due componenti che viaggiano ciascuna lungo uno degli assi principali del mezzo con differente velocità di gruppo.

Sempre secondo l'invenzione si è pensato di realizzare un metodo per la conversione ottica del formato di modulazione di un segnale ottico comprendente la fase di realizzare almeno un primo stadio di conversione facendo passare il segnale ottico attraverso un mezzo birifrangente con selezionato ritardo di gruppo differenziale fra i suoi due principali assi di simmetria per scomporlo in due componenti che viaggiano ciascuna lungo uno degli assi principali del mezzo con differente velocità di gruppo.

Sempre secondo l'invenzione si è anche pensato di realizzare un ricevitore per un segnale ottico, comprendente uno primo stadio di conversione del formato di modulazione del segnale ottico comprendente un mezzo birifrangente con selezionato ritardo di gruppo differenziale fra i suoi due principali assi di simmetria, attraverso il quale il segnale ottico è fatto passare per scomporlo in due componenti che viaggiano ciascuna lungo uno degli assi principali del mezzo con differente velocità di gruppo per ottenere dal segnale in ingresso un segnale modulato in polarizzazione, e un secondo stadio di conversione comprendente un dispositivo sensibile alla polarizzazione che riceve il segnale modulato in polarizzazione e lo converte in un segnale modulato in intensità che viene rilevato da un dispositivo fotorivelatore.

Per rendere più chiara la spiegazione dei principi innovativi della presente invenzione ed i suoi vantaggi rispetto alla tecnica nota si descriverà di seguito, con l'aiuto dei disegni allegati, una possibile realizzazione esemplificativa applicante tali principi.

Nei disegni:



-figura 1 rappresenta uno schema a blocchi di un dispositivo secondo l'invenzione per la conversione ottica di formati di modulazione;

-figura 2 rappresenta una schematizzazione dell'evoluzione di un segnale DPSK lungo un mezzo birifrangente facente parte del dispositivo secondo l'invenzione;

-figura 3 mostra diagrammi rappresentanti la conversione di un segnale DPSK in un segnale POLSK secondo l'invenzione;

-figura 4 rappresenta uno schema a blocchi di una prima realizzazione di un dispositivo di conversione e di un ricevitore secondo l'invenzione;

-figure 5 e 6 rappresentano diagrammi ad occhio di segnali convertiti;

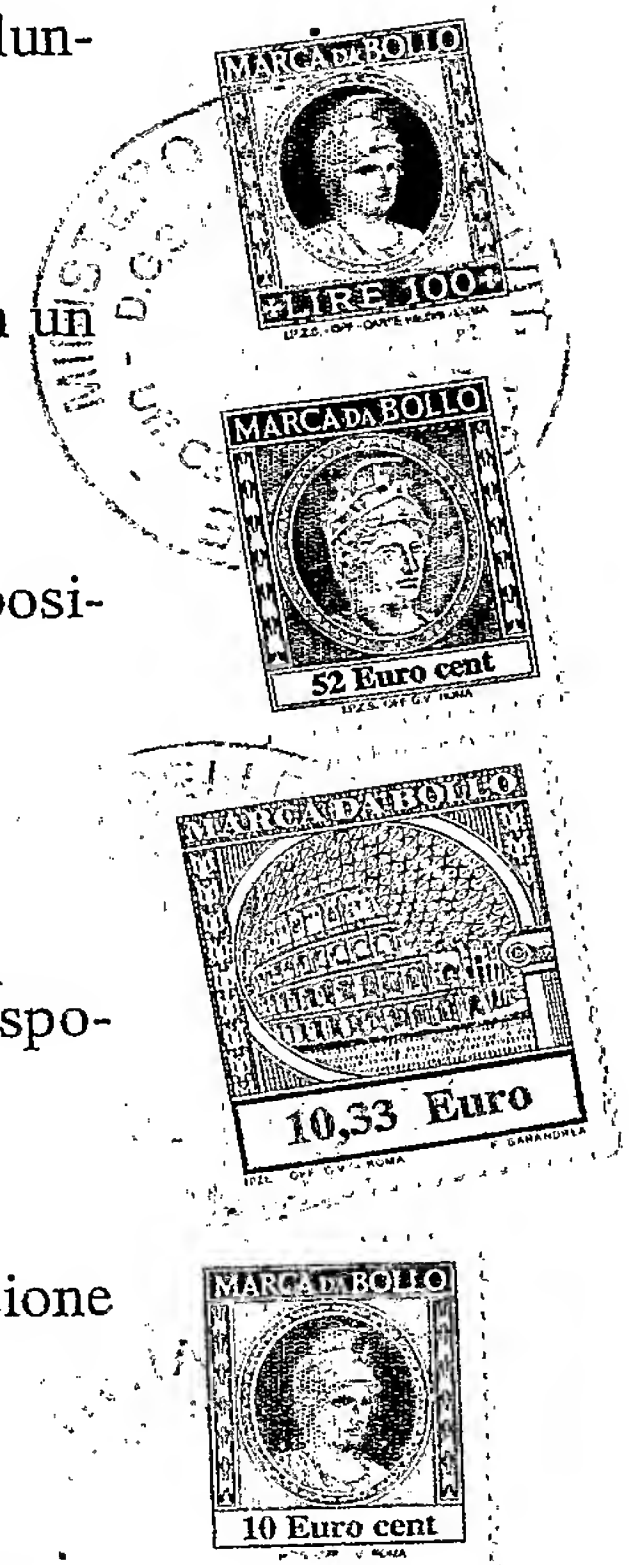
-figura 7 rappresenta uno schema a blocchi di una seconda realizzazione di un dispositivo di conversione e di un ricevitore secondo l'invenzione.

Con riferimento alle figure, è descritta una nuova idea di conversione di modulazione che gode dei vantaggi di essere semplice e flessibile.

Come si vede schematicamente in figura 1, un dispositivo secondo l'invenzione, indicato genericamente con 10, comprende un noto controllore di polarizzazione 13 e un mezzo birifrangente 14 (BM="Birefringent Medium") posti in serie fra un ingresso 11 di un segnale ottico modulato e una uscita 12 del segnale convertito in un differente formato di modulazione.

Grazie all'impiego di un mezzo birifrangente, quale una fibra a mantenimento della polarizzazione o PMF, l'innovativa soluzione qui descritta evita l'uso di qualsiasi interferometro ottico per la conversione di formato.

Il mezzo birifrangente è sfruttato allo scopo di dividere il segnale in due fasci con polarizzazione ortogonale, ciascuno viaggiante lungo uno degli assi principali del mezzo. La birifrangenza introduce un ritardo di gruppo differenziale (DGD) fra i due principali assi di simmetria, così che le due copie si propagano con differente veloci-



tà di fase e velocità di gruppo. Quindi, se il segnale all'ingresso del mezzo birifrangente ha un definito stato di polarizzazione (ad esempio, polarizzazione lineare), accoppiato ad un adatto angolo (p.es.  $45^\circ$ ) rispetto agli assi principali, le due componenti del segnale hanno la stessa potenza. Dopo la propagazione lungo il mezzo, le due componenti emergono all'uscita con un significativo ritardo relativo, e anche con una differenza di fase ottica (entrambe a causa del mezzo birifrangente). Poiché questi segnali sono combinati alla estremità del mezzo birifrangente, il segnale di uscita finale ha una dipendenza complessa con il segnale di ingresso, con il ritardo e con la differenza di fase. Come sarà chiaro dal seguito, ciò permette di ottenere almeno un primo stadio della conversione fra differenti formati di modulazione.

Un generico segnale può essere rappresentato all'ingresso del mezzo birifrangente come:

$$\vec{E}(t) = (E_{0,x}\vec{x} + E_{0,y}\vec{y})e^{i\Phi(t)}$$

con

$$\Phi(t) = \pi \sum_k a_k q(t - kT_{bit})$$

e

$$a_k = 0, 1;$$

$$q(t) = 1 \text{ se } |t| \leq (T_{bit} / 2)$$

$$q(t) = 0 \text{ negli altri casi}$$

$\vec{x}$  e  $\vec{y}$  sono versori indicanti le due polarizzazioni ortogonali del mezzo birifrangente e  $\Phi(t)$  è la modulazione di fase.  $E_{0,x}$  e  $E_{0,y}$  sono ampiezze complesse dove i valori determinano lo stato di polarizzazione (SOP) del segnale (ad esempio, se entrambi sono numeri reali, la luce è polarizzata linearmente). Se  $\alpha = \pi/4$  e la luce è polarizzata linearmente,  $E_{0,x} = E_{0,y}$ .

Dopo la propagazione lungo il mezzo birifrangente, il campo diviene:

$$\vec{E}(t) = E_{0,x} e^{i\Phi(t-T+\Delta T/2)+i\Psi/2} \vec{x} + E_{0,y} e^{i\Phi(t-T-\Delta T/2)-i\Psi/2} \vec{y} \quad (1)$$

dove  $T$  è il ritardo di gruppo medio,  $\Delta T$  e  $\Psi$  sono il ritardo differenziale di gruppo e il ritardo di fase, rispettivamente.

La conversione richiede un ingresso con stato di polarizzazione (SOP) fisso. Per cancellare le fluttuazioni casuali di polarizzazione solitamente causate dalla linea in fibra è perciò vantaggiosamente impiegato il controllore della polarizzazione (eventualmente con adatti controllori software e/o hardware) posto in ingresso al dispositivo. I controllori di polarizzazione sono ben noti al tecnico e non saranno qui ulteriormente descritti o mostrati.

Inoltre, poiché alcune riflessioni spurie possono essere presenti all'ingresso del mezzo birifrangente, un isolatore ottico potrebbe essere impiegato, per migliorare la stabilità, come si vedrà nel seguito.

Nella figura 2 è schematicamente mostrata l'evoluzione di un segnale DPSK lungo un mezzo birifrangente, in particolare una fibra PMF. Sulla sinistra della figura è mostrato schematicamente il segnale in ingresso alla fibra, mentre sulla destra è mostrato schematicamente il risultato che si ottiene all'uscita.

Nell'esempio, il segnale in ingresso è modulato DPSK a 10 Gbit/s, con uno stato lineare di polarizzazione ed è accoppiato a  $\alpha=45^\circ$  rispetto agli assi principali del mezzo birifrangente. La modulazione di fase è:

$$\Phi(t) = \begin{cases} 0 & \text{se bit '1'} \\ \pi & \text{se bit '0'} \end{cases}$$

Se all'ingresso del dispositivo giunge tale segnale DPSK, con polarizzazione lineare, accoppiato a  $45^\circ$  rispetto agli assi principali, e se il ritardo di gruppo è sull'ordine del tempo di bit  $T_{\text{bit}}$ , l'uscita dalla fibra è un segnale modulato in polarizzazione, dove il segnale modulante è il segnale originale (vale a dire, sarà anche decodificato diffe-

renzialmente).

I due stati di polarizzazione del segnale in uscita dipendono dalla differenza di fase del DPSK e dalle caratteristiche del mezzo. Ciò vale a dire che se lo scostamento di fase è  $\pi$  e il ritardo di gruppo è il tempo di bit, possono essere prodotte due polarizzazioni ortogonali, vale a dire un segnale POLSK ("POLarization Shift Keying") binario.

Inoltre, questo segnale POLSK può essere rilevato inviato ad un secondo stadio di conversione comprendente un dispositivo sensibile alla polarizzazione (ad esempio un noto controllo di polarizzazione PC e un altrettanto noto dispositivo sensibile alla polarizzazione, come, ad esempio, un polarizzatore o uno 'splitter' di polarizzazione), così da convertire la modulazione POLSK in una modulazione IM. Se si desidera realizzare un ricevitore per segnali modulati in fase (DPSK o PSK), la modulazione IM può poi essere facilmente rilevata per mezzo di un normale fotodiodo con adeguata banda passante.

Questo innovativo schema evita perciò l'uso di uno schema di ricevitore differenziale o coerente e può essere realizzato con componenti comuni.

Il mezzo birifrangente dovrebbe essere scelto in dipendenza dal bit rate del segnale in ingresso in modo tale che il ritardo di gruppo differenziale che viene introdotto sia comparabile con il tempo di bit. Per esempio, nel caso di una fibra a mantenimento della polarizzazione, se il ritardo lineare fra i PSP è uguale a 0.2ps/m, i due segnali separati sono ritardati di un tempo di bit (100ps) dopo 50 metri.

Ad esempio, partendo dalla equazione (1) si può dimostrare come la modulazione di fase venga convertita in una modulazione di polarizzazione, così da passare da un segnale DPSK ad un segnale POLSK.

Assumendo che lo scostamento di fase del DPSK sia esattamente  $\pi$  e  $\Delta T = T_{bit}$ , posso-

no essere prodotti due segnali SOP ortogonali. L'uscita è:

$$\bar{E}(t) = e^{i\Phi(t')} (E'_{0,x} \bar{x} + E'_{0,y} e^{i(\Phi(t'-\Delta T) - \Phi(t'))} \bar{y})$$

dove

$$t' = t - T + \Delta T/2$$

$$E'_{0,x} = E_{0,x} e^{i\Psi/2};$$

$$E'_{0,y} = E_{0,y} e^{-i\Psi/2}$$

Come si vede, se  $\Delta T = T_{bit}$ , l'uscita SOP è determinata dallo scostamento di fase fra due bit successivi che è:

$$\Phi(t' - \Delta T) - \Phi(t') = \Phi(t' - T_{bit}) - \Phi(t')$$

Può così essere realizzata una decodifica ottica differenziale.

I due possibili SOP di uscita dipendono dal valore di  $\Phi(t' - \Delta T) - \Phi(t')$  ed essi non possono essere allineati agli assi del mezzo birifrangente (nel nostro caso sono a  $\pm 45^\circ$ ). Si ottiene così la conversione da DPSK a POLSK.

Ciò è chiarito in figura 3, dove vengono confrontati le fasi dei segnali sui due assi nel mezzo birifrangente e i vettori di Jones in uscita. Risulta evidente la conversione in un segnale POLSK, grazie alla suddivisione e al ritardo del segnale DPSK prodotta dal mezzo birifrangente. Il flusso di bit considerato come esempio in figura 3 è il segnale periodico 00110011 e si è imposto un ritardo lineare esattamente uguale al tempo di bit (100ps).

Naturalmente, poiché le proprietà delle componenti ottiche sono reciproche, il mezzo birifrangente potrebbe essere usato allo stesso modo anche per la conversione inversa, vale a dire da un segnale POLSK a un segnale DPSK.

Per ottenere una conversione da DPSK a IM (o "Amplitude Shift Keying"=ASK) basta impiegare, dopo la conversione a POLSK sopra menzionata, un noto dispositivo selettivo della polarizzazione (PSD) per selezionare solo uno degli stati di polarizzazione in uscita. Si ottiene così il segnale IM.





Una implementazione pratica di tale schema è mostrato in figura 4, dove il segnale in ingresso è inviato al controllore di polarizzazione 13 per mezzo di un isolatore 15 per evitare le riflessioni e migliorare la stabilità, come sopra menzionato. Dopo il controllore 13 il segnale attraversa il mezzo birifrangente 14 che opera la conversione. Segue eventualmente un altro isolatore 16 contro le riflessioni e poi uno splitter 17 che invia il segnale POLSK ad un rivelatore 20 a scopo di monitoraggio. Dallo splitter è anche prelevato il segnale che viene inviato ad un dispositivo selettivo della polarizzazione 19 per selezionare solo uno degli stati di polarizzazione. Allo scopo di allineare gli assi di questo dispositivo selettivo della polarizzazione ai due SOP del segnale POLSK, può essere preferibile o necessario inserire un dispositivo di controllo della polarizzazione 18 fra il mezzo birifrangente e il dispositivo selettivo della polarizzazione. Il dispositivo selettivo della polarizzazione può essere ad esempio un filtro polarizzato o uno 'splitter' di polarizzazione.

Una volta ottenuto un segnale modulato in intensità esso può essere facilmente rilevato per mezzo di un adatto fotorivelatore, quale un fotodiodo 21. Si può così realizzare un semplice ricevitore per segnali DPSK.

Per ottenere il segnale IM, lo schema di figura 4 si basa sulla seguente logica: una permanenza della fase nel segnale DPSK conduce allo stato di polarizzazione da tagliare ( $+\pi/2$ : un bit '0' è rilevato), mentre una variazione di fase conduce allo stato di polarizzazione permesso ( $-\pi/2$ : un bit '1' è rilevato).

Il segnale in uscita è perciò modulato in intensità e può avere sia formato RZ sia formato NRZ, a seconda del valore del DGD totale che viene introdotto dal mezzo birifrangente. In particolare, se  $DGD \approx T_{bit}$  si avrà un segnale IM-NRZ, se  $DGD < T_{bit}$  si avrà un segnale IM-RZ. Ad esempio, in figura 5 è mostrato per il segnale con  $T_{bit}=100ps$  il diagramma ad occhio del segnale in uscita al mezzo con  $DGD=60ps$ : è

evidente si tratta di un segnale RZ. In figura 6 è invece mostrato per lo stesso segnale in ingresso il diagramma ad occhio del segnale in uscita al mezzo con  $DGD=95ps$  e che mostra come il segnale sia così un segnale NRZ.

In figura 7 è mostrato un altro esempio di conversione, questa volta da POLSK a IM, con un segnale di ingresso POLSK a 10Gbit/s, con due alternativi stati lineari ortogonali di polarizzazione, paralleli all'asse x ('0') o all'asse y ('1') del mezzo birifrangente.

In questo secondo esempio, come mezzo birifrangente 14 è impiegata una fibra con mantenimento della polarizzazione lunga 50 metri allo scopo di introdurre un DGD totale di circa 100ps. I bit '0' entranti si propagano nel mezzo birifrangente più velocemente dei bit '1', a causa delle differenti velocità di fase associate con i due assi principali.

Il segnale di uscita è perciò un segnale con intensità a tre livelli con una ampiezza di banda maggiore di 10GHz e simile alla derivata prima del segnale modulante. Quando la transizione è '01',  $|E|^2$  ha un valore di picco dovuto alla sovrapposizione dei due stati di polarizzazione possibili. Quando la transizione è '10',  $|E|^2$  ha un valore minimo a causa della assenza di uno stato di polarizzazione possibile. Quando la transizione è '00' o '11',  $|E|^2$  ha un valore medio a causa della presenza di uno solo degli stati di polarizzazione possibili. Il valore minimo è uguale a zero se il ritardo lineare è esattamente il tempo di bit (nel caso di esempio, 100ps).

Quest'ultimo esempio dimostra che un mezzo birifrangente può essere usato anche come un encoder/decoder. La sequenza originale può essere decodificata rilevando il segnale codificato per mezzo di un fotorivelatore (fotodiodo) 20 (come mostrato schematicamente in figura 7) con una ampiezza di banda minore di 10GHz e per mezzo di un amplificatore limitatore elettronico 22 avente una adeguata regolazione

di soglia (ad esempio uguale a quella "Full Width Half Maximum=FWHM" del segnale codificato) e adeguata ampiezza di banda (ad esempio 7GHz).

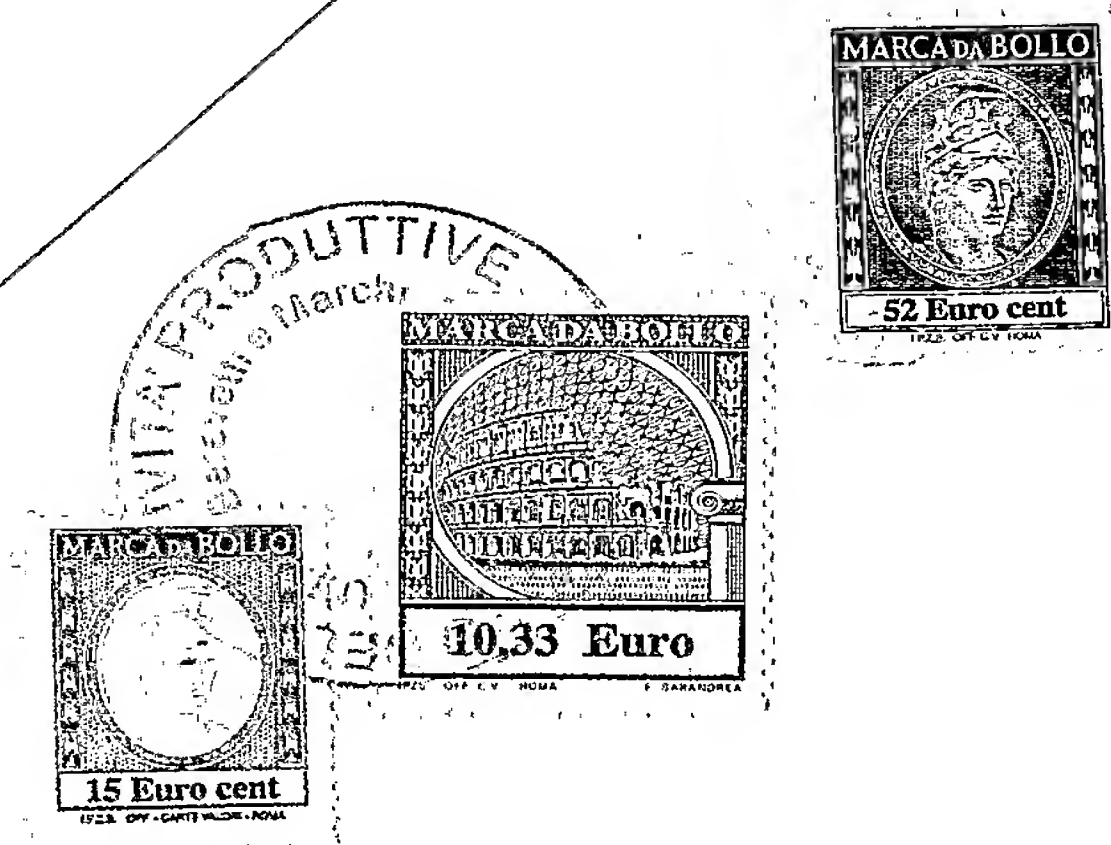
E' così anche giustificato come possa essere ottenuta una conversione di modulazione di un segnale POLSK in un segnale modulato in intensità a tre livelli grazie a un mezzo birifrangente.

A questo punto è chiaro come si siano raggiunti gli scopi dell'invenzione, fornendo un metodo e un dispositivo secondo il metodo semplice e poco costoso per la conversione ottica da un formato ad un altro. Lo schema può essere usato per convertire da DPSK o da MSK ("Minimum Shift Keying") direttamente a POLSK; da DPSK o da MSK a IM (attraverso una conversione intermedia a POLSK) sia IM-RZ sia IM-NRZ; da POLSK a IMDD; da IM a POLSK. Poiché il DPSK è molto simile al PSK, a meno della codifica differenziale iniziale, conversioni similari a quelle per il DPSK possono essere ottenute per il PSK. Secondo l'invenzione, grazie alla conversione in un segnale modulato in intensità è anche possibile realizzare facilmente un ricevitore inviando tale segnale modulato in intensità ad un fotorivelatore.

E' prevedibile che nelle reti future coesisteranno diversi formati di modulazione, così che in alcuni nodi potrebbe essere conveniente convertire otticamente un formato in un altro. La presente invenzione mette in grado di eseguire questa conversione di modulazione, e sarà utile da impiegarsi per trasformare il formato del segnale trasmesso senza perdita di informazioni e limitazioni di banda.

Naturalmente, la descrizione sopra fatta di una realizzazione applicante i principi innovativi della presente invenzione è riportata a titolo esemplificativo di tali principi innovativi e non deve perciò essere presa a limitazione dell'ambito di privativa qui rivendicato. Ulteriori accorgimenti potranno essere presi per mantenere le caratteristiche necessarie al corretto funzionamento dei dispositivi come sopra descritti. Ad

esempio, è chiaro che i due segnali separati nel mezzo birifrangente dovrebbero essere mantenuti a definiti ritardo di gruppo e differenza di fase lungo tutto il mezzo birifrangente. In dipendenza dalle caratteristiche del mezzo birifrangente, queste condizioni potrebbero essere critiche, poiché in particolare il ritardo di fase potrebbe cambiare dopo un certo periodo di tempo a causa di effetti termici, meccanici o di altra natura. Quindi, per soddisfare questa condizione potrebbe essere necessario porre l'intero dispositivo in un adatto involucro, che deve essere in grado di isolare il mezzo birifrangente dall'ambiente esterno. In alternativa, il dispositivo potrebbe essere progettato allo scopo di mantenere queste variazioni sotto controllo (alcune delle quali potrebbero essere compensate dopo il mezzo birifrangente). Nel caso di fibre a mantenimento della polarizzazione può anche essere utile impiegare la comune piccola copertura sintetica che preserva le proprietà di trasmissione della fibra.



## RIVENDICAZIONI

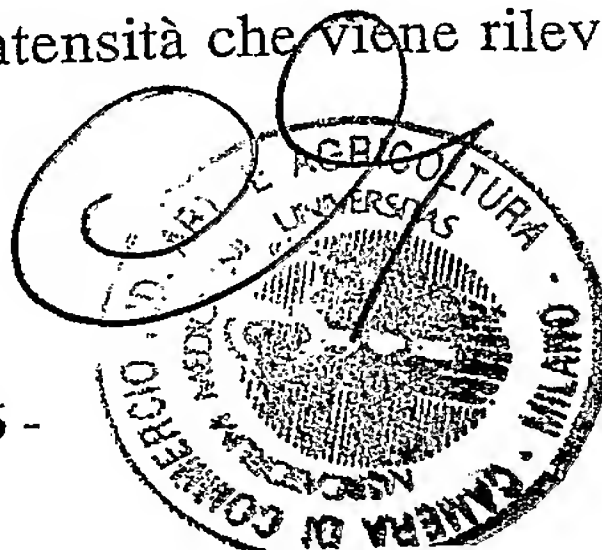
1. Convertitore ottico del formato di modulazione di un segnale ottico caratterizzato dal fatto di comprendere almeno un primo stadio di conversione formato da un mezzo birifrangente con selezionato ritardo di gruppo differenziale fra i suoi due principali assi di simmetria, attraverso il quale il segnale ottico è fatto passare per scomporlo in due componenti che viaggiano ciascuna lungo uno degli assi principali del mezzo con differente velocità di gruppo.
2. Convertitore secondo rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che il mezzo birifrangente è scelto in dipendenza dal bit rate del segnale in ingresso in modo tale che il ritardo di gruppo differenziale che viene introdotto sia comparabile con il tempo di bit del segnale.
3. Convertitore secondo rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che prima del mezzo birifrangente il segnale attraversa un controllore della polarizzazione comandato per cancellare eventuali fluttuazioni casuali di polarizzazione.
4. Convertitore secondo rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che il mezzo birifrangente è una fibra a mantenimento della polarizzazione.
5. Convertitore secondo rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che prima dell'ingresso nel mezzo birifrangente il segnale attraversa un isolatore ottico.
6. Convertitore secondo rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che quando il segnale in ingresso da convertire è modulato in fase, il mezzo birifrangente è scelto con ritardo di gruppo tale che il segnale alla sua uscita è un segnale modulato in polarizzazione che è conversione del segnale modulato in fase in ingresso.
7. Convertitore secondo rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che quando il segnale in ingresso da convertire è modulato in fase con polarizzazione lineare, esso viene accoppiato a  $45^\circ$  rispetto agli assi principali del mezzo birifrangente.



8. Convertitore secondo rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che all'uscita del mezzo birifrangente è presente un secondo stadio di conversione comprendente un dispositivo sensibile alla polarizzazione che riceve il segnale modulato in polarizzazione e lo converte in un segnale modulato in intensità.
9. Convertitore secondo rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che per ottenere il segnale modulato in intensità, il dispositivo sensibile alla polarizzazione è tale da fare sì che una permanenza della fase nel segnale modulato in fase in ingresso conduce ad uno stato di polarizzazione all'uscita del mezzo birifrangente che viene tagliato dal dispositivo sensibile alla polarizzazione e viene così prodotto un bit '0', mentre una variazione di fase nel segnale modulato in fase in ingresso conduce ad uno stato di polarizzazione all'uscita del mezzo birifrangente che è permesso dal dispositivo sensibile alla polarizzazione e viene così prodotto un bit '1'.
10. Convertitore secondo rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che il dispositivo sensibile alla polarizzazione è un polarizzatore o uno splitter di polarizzazione.
11. Convertitore secondo rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che per il segnale modulato in intensità è rilevato per mezzo di un fotorivelatore all'uscita del secondo stadio.
12. Convertitore secondo rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che il mezzo birifrangente ha ritardo di gruppo scelto sostanzialmente pari al tempo di bit del segnale in ingresso, così che si ottiene la conversione in un segnale in formato IM-NRZ.
13. Convertitore secondo rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che il mezzo birifrangente ha ritardo di gruppo scelto sufficientemente minore del tempo di bit del segnale in ingresso, così che si ottiene la conversione in un segnale in formato IM-RZ.
14. Metodo per la conversione ottica del formato di modulazione di un segnale ottico

comprendente la fase di realizzare almeno un primo stadio di conversione facendo passare il segnale ottico attraverso un mezzo birifrangente con selezionato ritardo di gruppo differenziale fra i suoi due principali assi di simmetria per scomporlo in due componenti che viaggiano ciascuna lungo uno degli assi principali del mezzo con differente velocità di gruppo.

15. Metodo secondo rivendicazione 14, nel quale quando il segnale in ingresso da convertire è modulato in fase, il ritardo di gruppo del mezzo birifrangente è scelto tale che il segnale all'uscita del mezzo birifrangente è un segnale modulato in polarizzazione che è conversione del segnale modulato in fase in ingresso.
16. Metodo secondo rivendicazione 15, comprendente l'ulteriore fase di applicare il segnale modulato in polarizzazione ad un dispositivo sensibile alla polarizzazione per convertirlo in un segnale modulato in intensità.
17. Metodo secondo rivendicazione 14, nel quale il ritardo di gruppo differenziale del mezzo birifrangente è scelto in dipendenza dal bit rate del segnale in ingresso in modo tale che sia comparabile con il tempo di bit del segnale.
18. Ricevitore per un segnale ottico, comprendente uno primo stadio di conversione del formato di modulazione del segnale ottico comprendente un mezzo birifrangente con selezionato ritardo di gruppo differenziale fra i suoi due principali assi di simmetria, attraverso il quale il segnale ottico è fatto passare per scomporlo in due componenti che viaggiano ciascuna lungo uno degli assi principali del mezzo con differente velocità di gruppo per ottenere dal segnale in ingresso un segnale modulato in polarizzazione, e un secondo stadio di conversione comprendente un dispositivo sensibile alla polarizzazione che riceve il segnale modulato in polarizzazione e lo converte in un segnale modulato in intensità che viene rilevato da un dispositivo fotorivelatore.



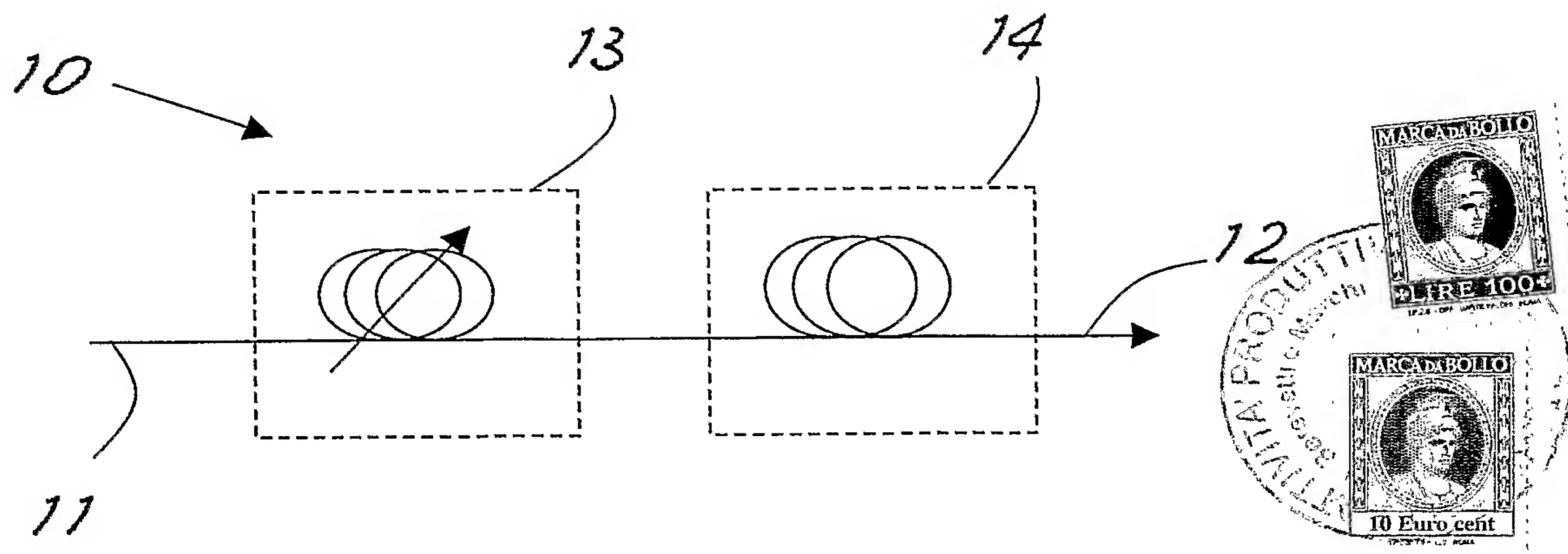
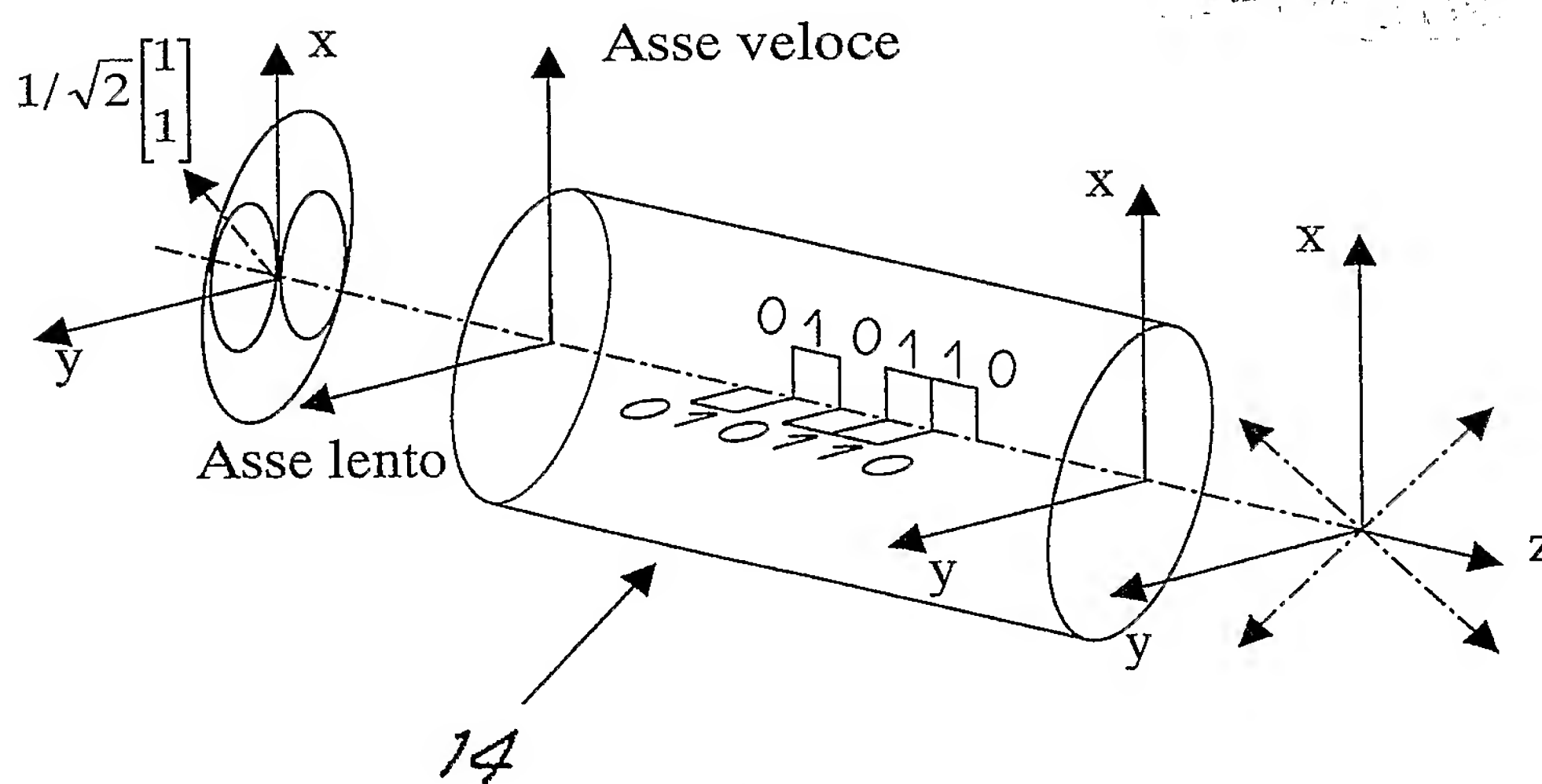
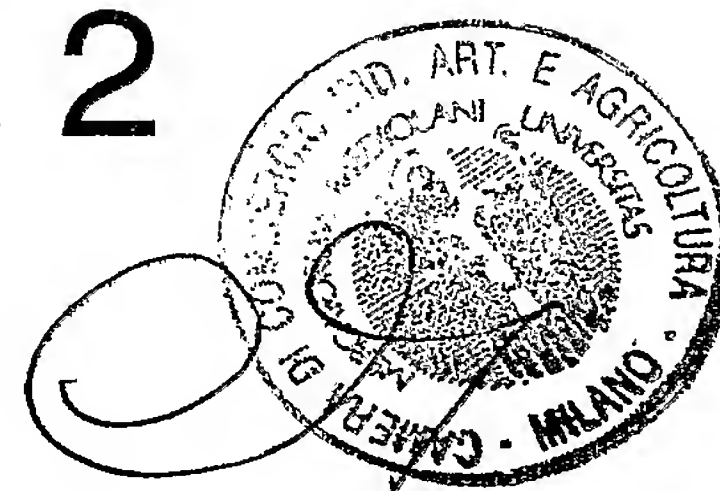


Fig. 1



MI 2004 A 0 0 0 4 4 2

Fig. 2



I mandatori

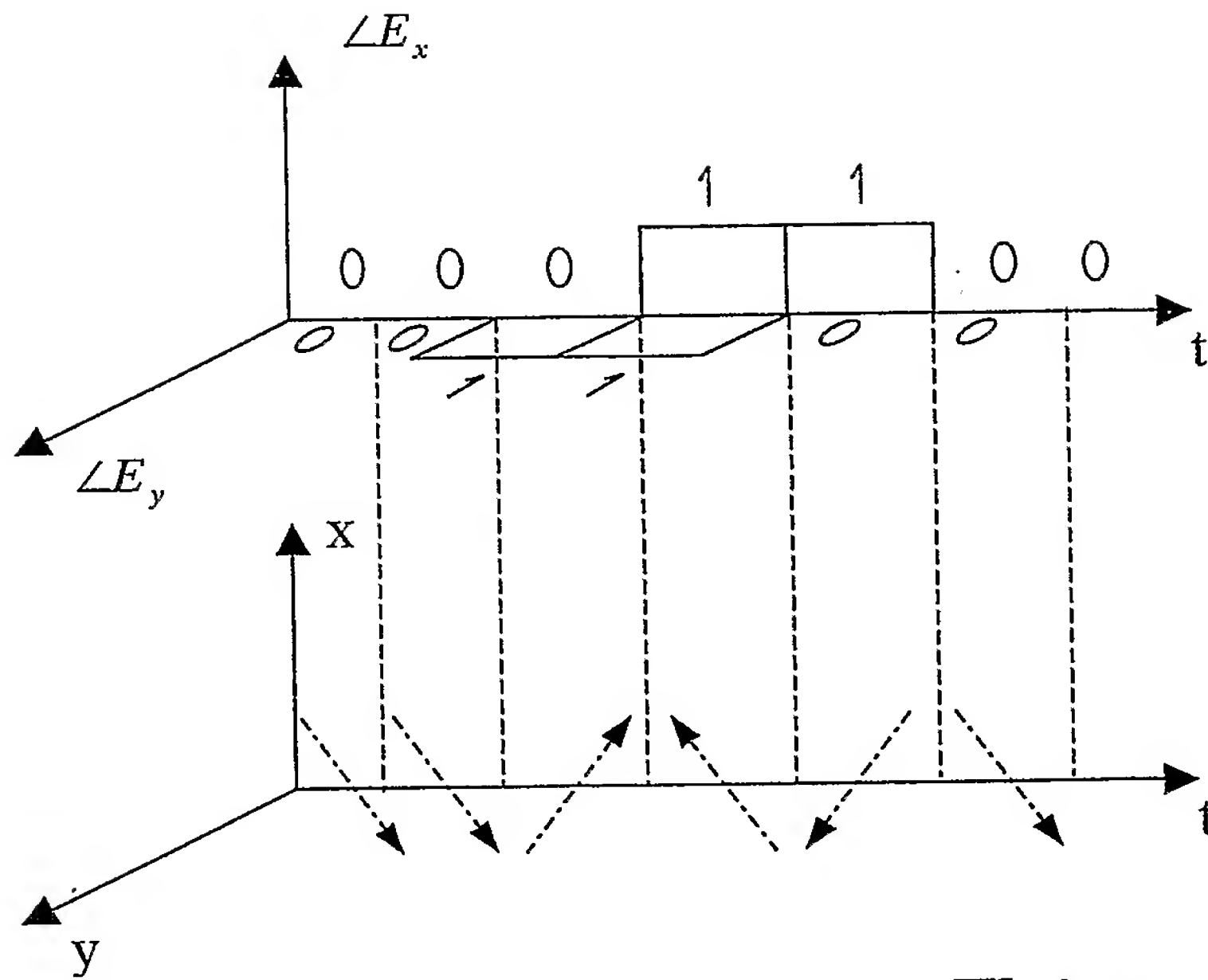
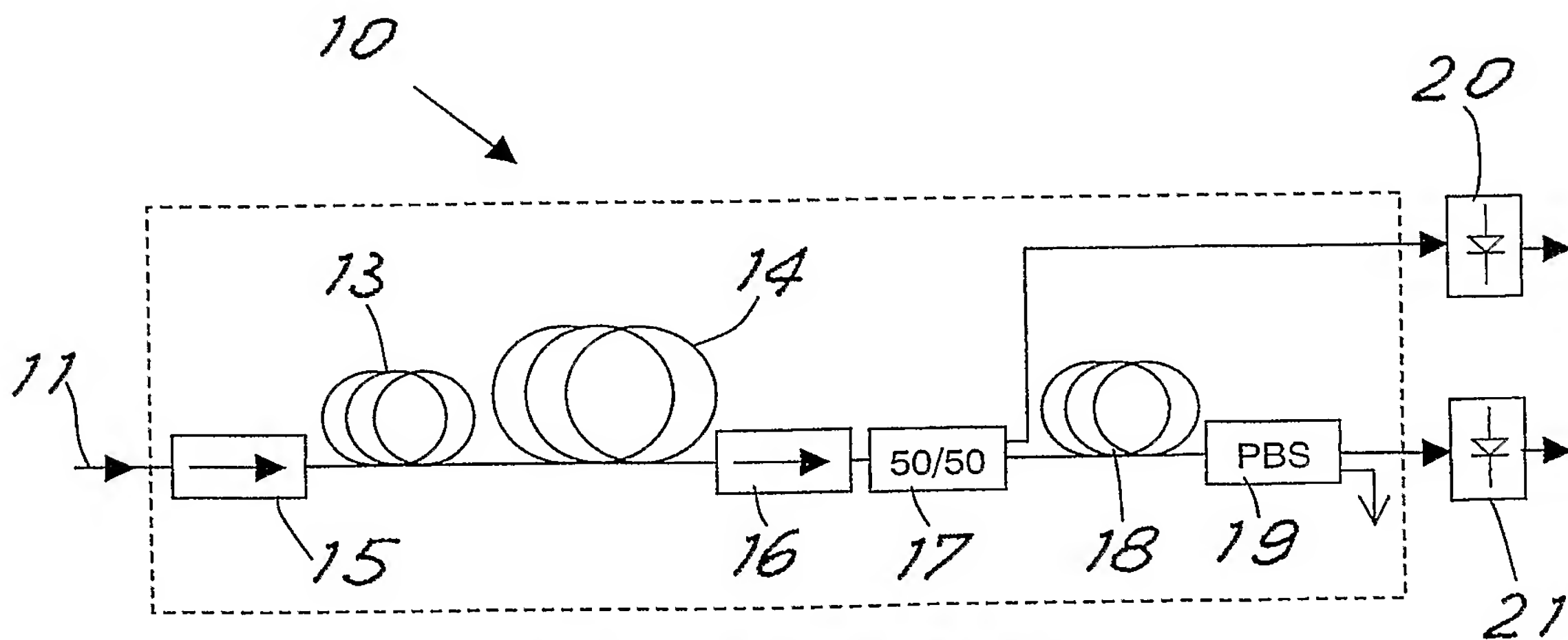


Fig. 3



MI 2004 A0 00 4 42

Fig. 4



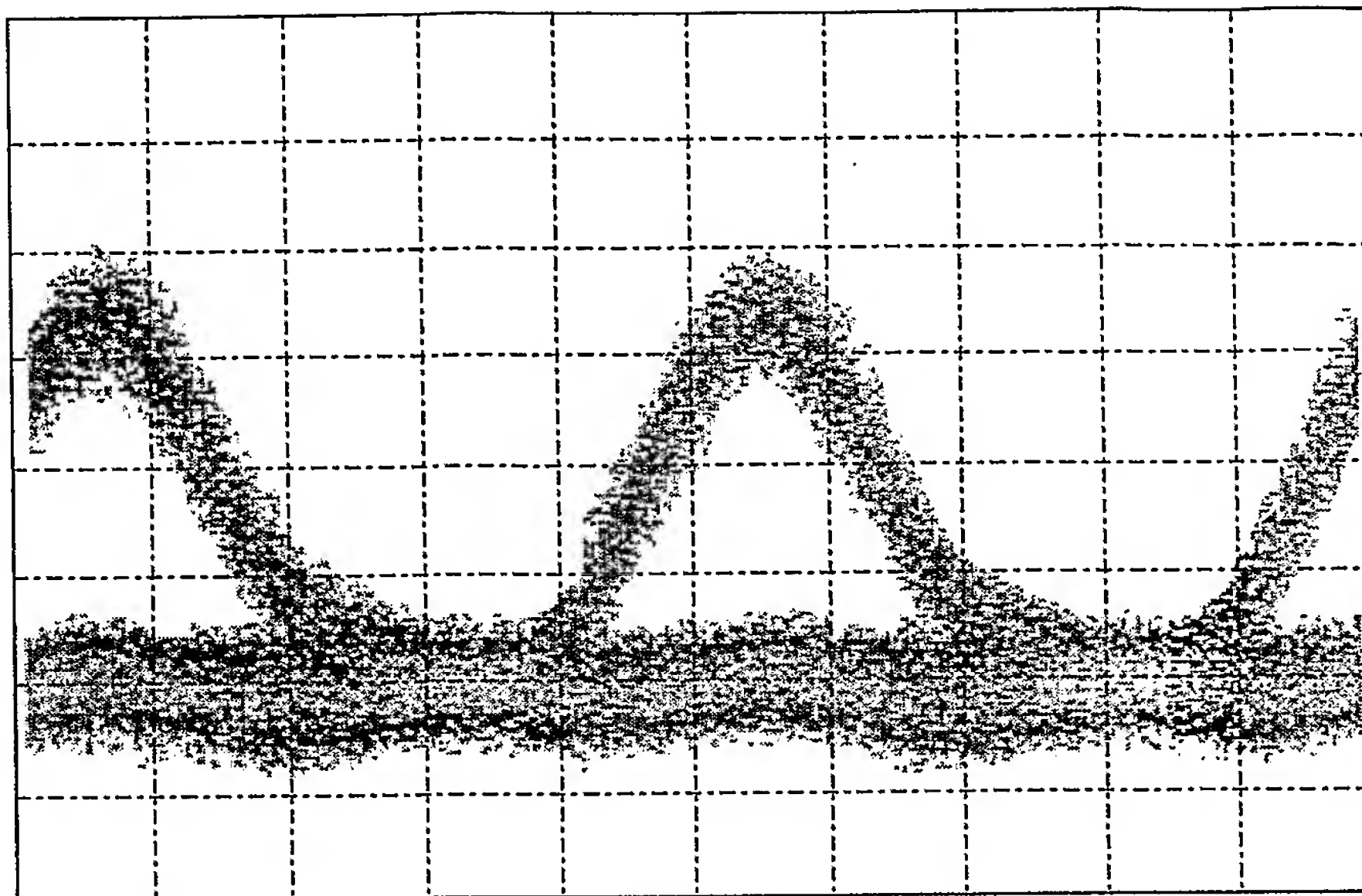
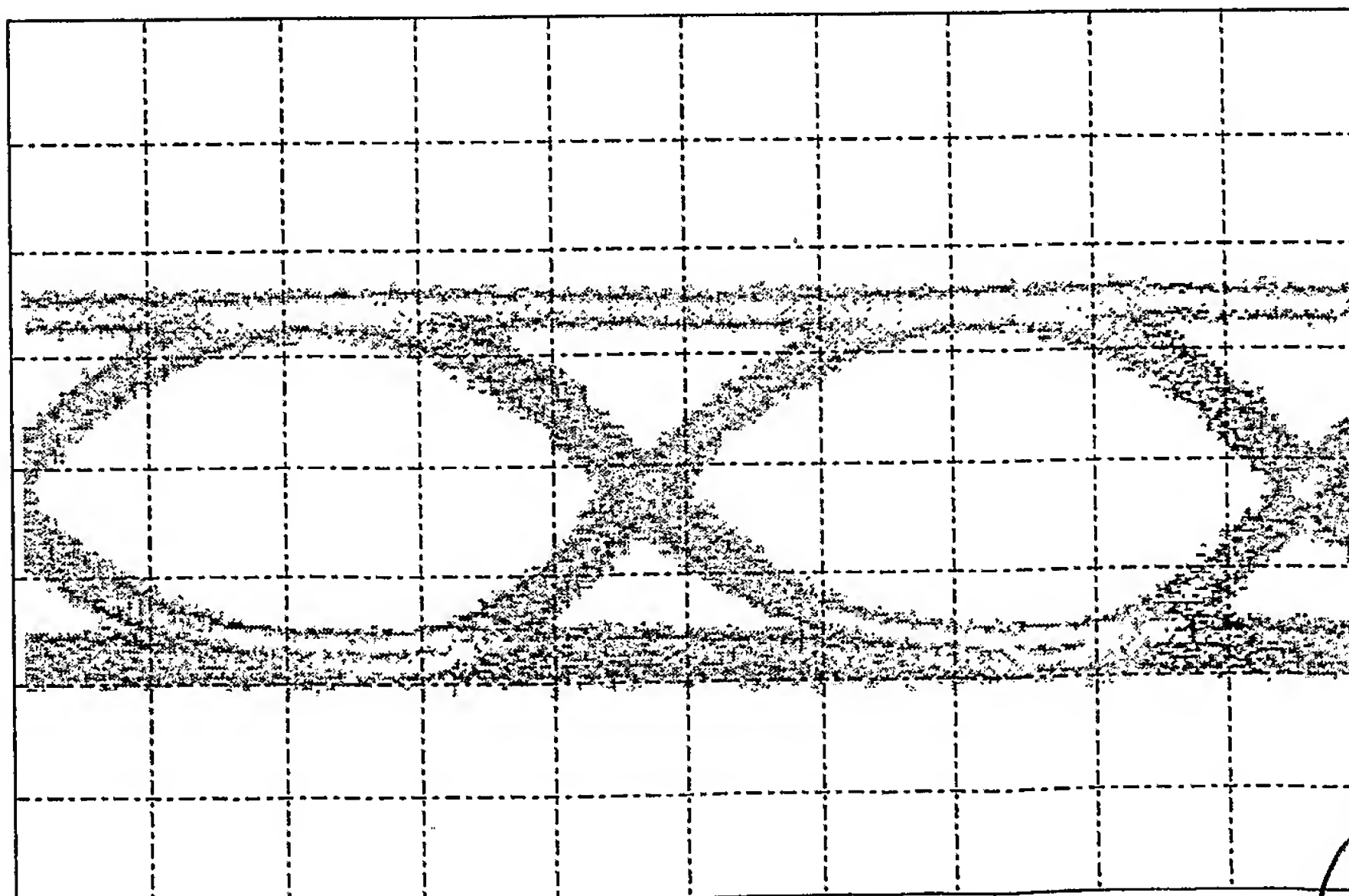
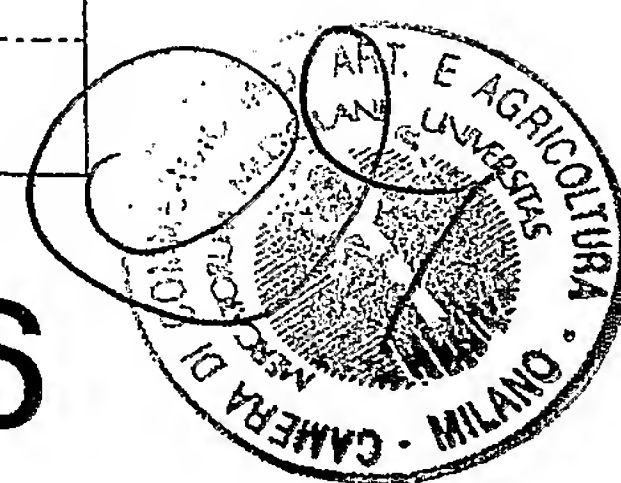


Fig. 5



MI 2004 A0 00442

Fig. 6



I mandatori



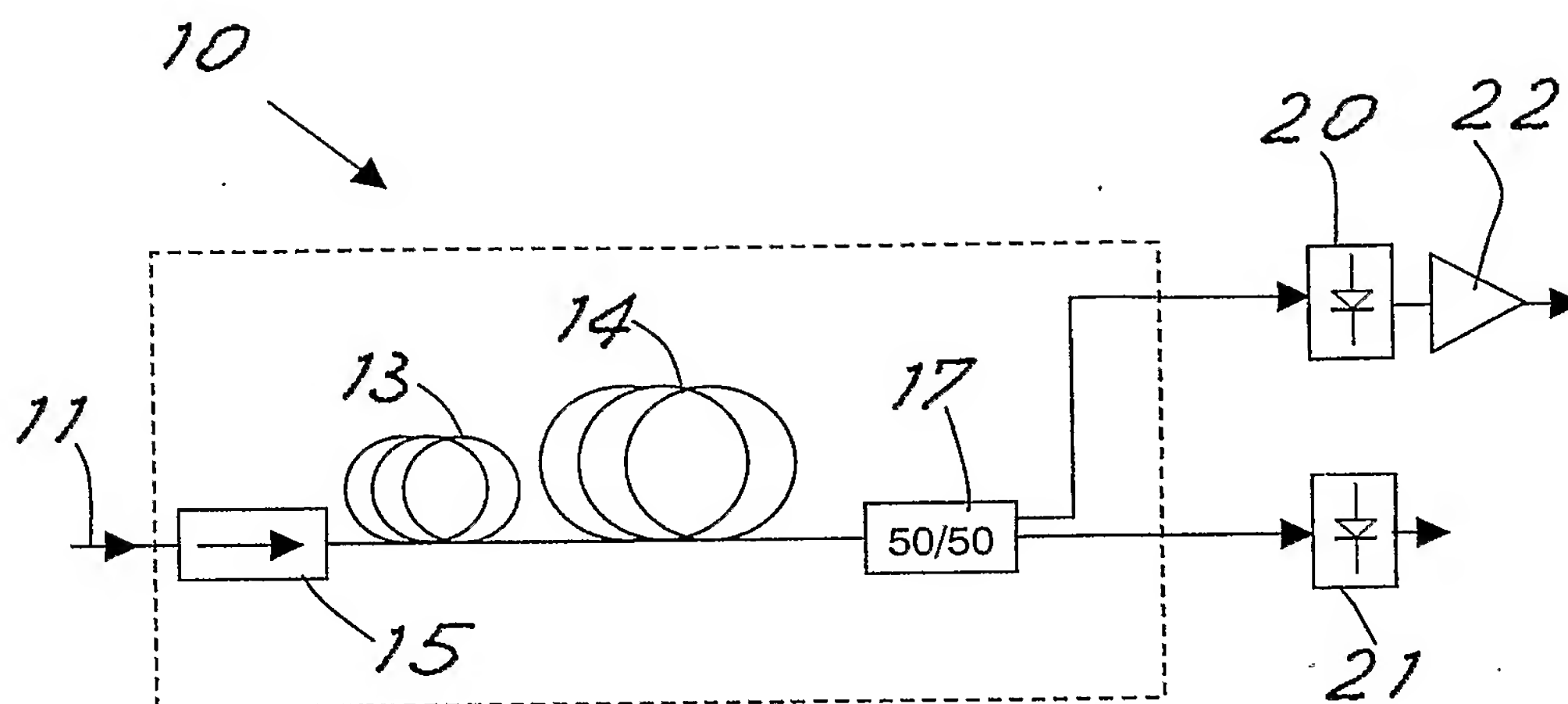
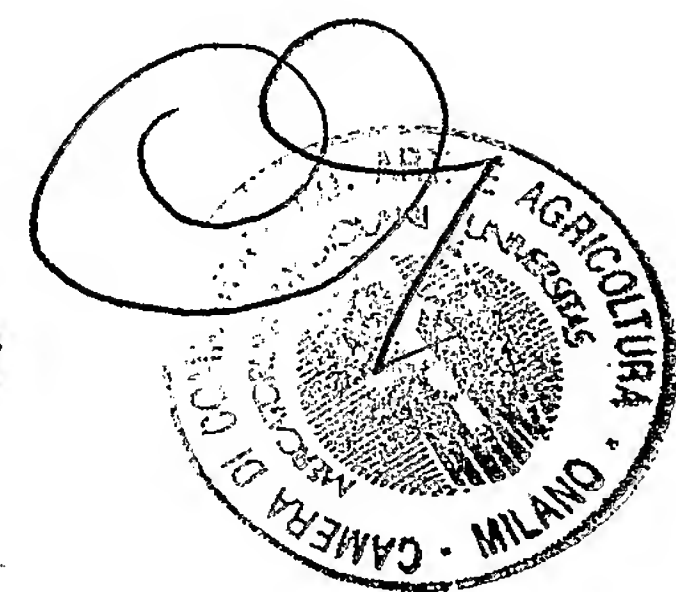


Fig. 7

MI 2004 A 0 0 0 4 4 2



I mandatori

*[Signature]*